



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 40 659 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 F 7/13**  
H 01 F 7/18

⑳ Aktenzeichen: 196 40 659.5  
㉔ Anmeldetag: 2. 10. 96  
㉓ Offenlegungstag: 9. 4. 98

DE 196 40 659 A 1

㉑ Anmelder:  
FEV Motorentechnik GmbH & Co. KG, 52078  
Aachen, DE  
  
㉒ Vertreter:  
Patentanwälte Maxton & Langmaack, 50968 Köln

㉑ Erfinder:  
Schebitz, Michael, 52068 Aachen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ㉓ Verfahren zur Betätigung eines elektromagnetischen Aktuators mit Beeinflussung des Spulenstroms während der Ankerbewegung
- ㉓ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Betätigung eines elektromagnetischen Aktuators mit Stellglied, der wenigstens einen Elektromagneten und einen mit dem Stellglied verbundenen Anker aufweist, der bei Stromzufuhr zum Elektromagneten gegen die Kraft einer Rückstellfeder in Richtung auf die Polfläche des Elektromagneten bewegbar und an dieser zur Anlage bringbar ist, wobei die Stromzufuhr zum Elektromagneten so gesteuert wird, daß der zeitliche Verlauf der erzeugten Magnetkraft zumindest in der Endphase der Annäherung des Ankers an die Polfläche in etwa dem Verlauf der Federkennlinie entspricht, wobei die Magnetkraft jedoch größer ist als die Kraft der Rückstellfeder, zumindest in diesem Bewegungsbereich.

DE 196 40 659 A 1

Elektromagnetisch betätigbare Aktuatoren weisen wenigstens einen Elektromagneten und einen auf ein Stellglied einwirkenden Anker auf, der mit wenigstens einem Rückstellmittel verbunden ist, so daß der Anker aus einer durch das Rückstellmittel vorgegebenen ersten Stellposition durch Einschalten des Spulenstroms in eine durch die Anlage des Ankers am Elektromagneten definierte zweite Stellposition bewegt werden kann. Elektromagnetisch betätigbare Aktuatoren werden beispielsweise zur Steuerung der Gaswechselventile an Kolben-Brennkraftmaschinen eingesetzt. Hierbei sind zwei Elektromagneten vorgesehen, zwischen denen jeweils gegen die Kraft eines Rückstellmittels der Anker durch Abschalten des Spulenstroms am haltenden Elektromagneten und Einschalten des Spulenstroms am fangenden Elektromagneten bewegt werden kann. Durch eine entsprechende Ansteuerung der einzelnen Aktuatoren der Gaswechselventile kann nun das Ein- und Ausströmen des Arbeitsmediums bewirkt werden, so daß der Arbeitsprozeß nach den jeweils notwendigen Gesichtspunkten optimal beeinflußt werden kann.

Der Ablauf der Steuerung hat dabei großen Einfluß auf die unterschiedlichen Parameter, beispielsweise die Zustände des Arbeitsmediums im Einlaßbereich, im Arbeitsraum und im Auslaßbereich sowie auf die Vorgänge im Arbeitsraum selbst. Da Kolbenbrennkraftmaschinen bei sehr unterschiedlichen Betriebszuständen instationär arbeiten, ist eine entsprechend anpassungsfähige Steuerung der Gaswechselventile notwendig. Elektromagnetisch betätigbare Aktuatoren für Gaswechselventile sind beispielsweise aus DE-C-30 24 109 bekannt.

Ein wesentliches Problem bei der Steuerung derartiger elektromagnetisch betätigbarer Aktuatoren stellt die Zeitgenauigkeit dar, die insbesondere bei einer Steuerung der Motorleistung für die Einlaßventile erforderlich ist. Eine genaue Steuerung der Zeiten wird durch fertigungsbedingte Toleranzen, im Betrieb auftretende Verschleißerscheinungen sowie durch unterschiedliche Betriebszustände, beispielsweise wechselnde Lastanforderungen und wechselnde Arbeitsfrequenzen erschwert, da diese äußeren Einflüsse ebenfalls zeitrelevante Parameter des Systems beeinflussen können.

Ein Ansatz zum Erzielen einer hohen Steuergenauigkeit besteht im Aufbringen einer vergleichsweise hohen Energie jeweils zum Fangen des Ankers an einer Magnetpolfläche. Verbunden mit diesem hohen Energieaufwand ist aber eine sinkende Betriebssicherheit, da dann als weiteres Problem das sogenannte Pellen des Ankers verstärkt auftritt. Dieses Problem wird dadurch verursacht, daß der Anker mit hoher Geschwindigkeit auf der Polfläche auftrifft und von dieser sofort oder nach kurzer Zeit wieder abprallt. Durch diese Prellvorgänge wird beispielsweise bei Gaswechselventilen der Betrieb des Motors nachteilig beeinflußt.

Bei dem vorstehend angegebenen, vorbekannten elektromagnetischen Aktuator werden als Rückstellfedern Schraubenfedern mit einer etwa linearen Federkennlinie verwendet. Die hierbei einzusetzenden Magnete besitzen jedoch einen exponentiellen Kraftverlauf über dem Ankerweg, was zur Folge hat, daß die Magnetkraft bei großem Abstand des Ankers von der Polfläche geringer sein kann, als die in dieser Position auf den Anker wirkende Federkraft, daß bei einer Annäherung des Ankers an die Polfläche beide Kräfte in etwa gleich sind und bei weiterer Annäherung des Ankers an die Polfläche die Magnetkraft jedoch deutlich größer

wird als die entgegenwirkende Federkraft. Diese Überhöhung der Magnetkraft zum Ende der Ankerbewegung hat eine Beschleunigung des Ankers und damit einen Anstieg der Fluggeschwindigkeit des Ankers zur Folge, was sich bei seinem Auftreffen auf die Polfläche negativ auswirkt. Neben einem erhöhten Verschleiß und einer höheren Geräuschbildung besteht hier dann, wie vorstehend bereits angegeben, als weiteres Problem das sogenannte Pellen des Ankers.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Steuerung der Stromzufuhr zum Elektromagneten zu schaffen, durch das die vorstehend geschilderten Nachteile praktisch vermieden werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Stromzufuhr zum Elektromagneten so gesteuert wird, daß der zeitliche Verlauf der erzeugten Magnetkraft zumindest in der Endphase der Annäherung des Ankers an die Polfläche in etwa dem Verlauf der Federkennlinie entspricht, jedoch größer ist als die Kraft der Rückstellfeder zumindest in diesem Bewegungsbereich. Durch diese Maßnahme ist es möglich, die Kraftüberhöhung des Elektromagneten gegenüber der entgegenwirkenden Kraft der Rückstellfeder zu begrenzen und so die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf der Polfläche auf ein gewünschtes Maß zu reduzieren. Hierdurch kann zum einen ein sicheres Fangen des Ankers vom Elektromagneten gewährleistet werden, zum anderen aber ein Pellen oder gar vollständiges Abprallen des Ankers von der Polfläche vermieden werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß nach dem Einschalten die Stromzufuhr zunächst auf einem vorgebbaren Wert  $I_{\max}$  während einer vorgebbaren Zeit  $t_A \leq 0$  konstant gehalten und danach ab einem Zeitpunkt  $t_A$  proportional zum Verlauf der Federkennlinie vermindert und ab oder nach dem zu erwartenden Zeitpunkt  $t_B$  des Auftreffens des Ankers auf der Polfläche auf die Höhe des Haltestroms  $I_H$  reduziert wird. Diese Verfahrensweise ist insbesondere für elektromagnetische Aktuatoren mit zwei mit Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten von Bedeutung, zwischen denen der mit dem Stellmittel, beispielsweise einem Gaswechselventil verbundene Anker jeweils gegen die Kraft von Rückstellfedern hin- und herbewegt wird. Dies geschieht dadurch, daß der in der einen Schaltstellung an einem Elektromagneten an liegende Anker nach dem Abschalten des Haltestroms an diesem Elektromagneten durch die Kraft der Rückstellfeder in Richtung auf den anderen Elektromagneten beschleunigt wird, so daß dieser in das Kraftfeld des mit einem hohen Fangstrom  $I_{\max}$  bestromten fangenden Elektromagneten gelangt und an diesem dann zur Anlage kommt. Der an der Polfläche des fangenden Magneten anliegende Anker wird dann durch einen in der Höhe reduzierten Haltestrom  $I_H$  gehalten, der darüber hinaus noch zur Reduzierung des Energieaufwandes zwischen einem oberen und unteren Schwellenwert getaktet werden kann. Zwischen der Bestromung der Spule des Elektromagneten mit dem hohen Fangstrom  $I_{\max}$  und der Bestromung mit dem niedrigen Haltestrom  $I_H$  wird zum Zeitpunkt der Annäherung des Ankers, also noch vor dem Auftreffen die Bestromung so reduziert, daß sich ein in etwa zum Verlauf der Federkennlinie in diesem Bereich proportionaler Kraftverlauf der Magnetkraft ergibt.

In weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß zumindest periodisch der zeitliche Verlauf der Stromzufuhr in einem Schaltzyklus als Ist-Wert erfaßt, mit einem vorgegebenen Ver-

lauf als Soll-Wert verglichen und für die nachfolgenden Schaltzyklen bei Abweichungen entsprechend geändert wird. Ein derartiger Soll-Ist-Vergleich kann je nach Einsatzfall bei jedem Schaltzyklus oder jeweils nach einer vorgebbaren konstanten oder aber auch entsprechend den Betriebsbedingungen veränderbaren Zahl von Schaltzyklen vorgenommen werden.

Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen elektromagnetischen Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils,

Fig. 2 den Verlauf der Kraft der Rückstellfeder und den Verlauf der Magnetkraft über dem Ankerweg,

Fig. 3 den Verlauf von Spulenstrom und Ankerweg in Abhängigkeit von der Zeit bei einer normalen Steuerung des Fangstroms,

Fig. 4 den Verlauf von Spulenstrom und Ankerweg in Abhängigkeit von der Zeit bei einer Bestromung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig. 5 ein Blockschaltbild für eine Steuerung eines elektromagnetischen Aktuators für ein Gaswechselventil.

In Fig. 1 ist ein elektromagnetischer Aktuator 1 schematisch dargestellt, der einen mit einem Gaswechselventil 2 verbundenen Anker 3 sowie einen dem Anker 3 zugeordneten Schließmagneten 4 und einen Öffnermagneten 5 aufweist. Der Anker 3 wird über Rückstellfedern 6 und 7 bei stromlos gesetzten Magneten in einer Ruhelage zwischen den beiden Magneten 4 und 5 gehalten, wobei der jeweilige Abstand zu den Polflächen 8 der Magneten 4, 5 von der Auslegung der Federn 6, 7 abhängt. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die beiden Federn 6 und 7 gleich ausgelegt, so daß die Ruhelage des Ankers 3 sich in der Mitte zwischen den beiden Polflächen 8 befindet, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. In Schließstellung liegt somit der Anker 3 an der Polfläche des Schließmagneten 4 an.

Zur Betätigung des Gaswechselventils, d. h. zur Einleitung der Bewegung aus der geschlossenen Position in die geöffnete Position, wird der Haltestrom am Schließmagneten 4 abgeschaltet. Hierdurch fällt die Haltekraft des Schließmagneten 4 unter die Federkraft der Rückstellfeder 6 ab und der Anker 3 beginnt, durch die Federkraft beschleunigt, sich zu bewegen. Nach dem Durchgang des Ankers durch seine Ruhelage wird der "Flug" des Ankers durch die Federkraft der dem Öffnermagneten 5 zugeordneten Rückstellfeder 7 abgebremst. Um nun den Anker 3 in der Öffnungsposition zu fangen und zu halten, wird der Öffnermagnet 5 mit Strom beaufschlagt. Zum Schließen des Gaswechselventils erfolgt dann der Schaltungs- und Bewegungsablauf in umgekehrter Richtung.

In Fig. 2 ist im Diagramm der Verlauf der auf den Anker wirkenden Magnetkraft  $F_M$ , beispielsweise des Öffnermagneten 5 in bezug auf den Abstand zu dessen Polfläche 8 wiedergegeben. Die zugehörige, in ihrer Kraftwirkung der Magnetkraft entgegenwirkende Rückstellfeder 7 ist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel linear ausgelegt, wie dies durch den Verlauf der Federkraft  $F_F$  wiedergegeben ist. Der Schnittpunkt  $X_0$  zeigt in diesem Diagramm die Mittellage des Ankers 3 bei stromlosen Haltemagneten an, während der Punkt  $X_1$  der Endlage des Ankers 3 an der Polfläche 8 des Öffnermagneten 5 entsprechend der vorstehend beschriebenen Arbeitsposition entspricht.

Die in der Endlage  $X_1$  auf den Anker aufzubringende Federkraft sei  $F_0$ . Die Magnetkraft  $F_M$  ist der Federkraft  $F_F$  entgegengerichtet und zeigt eine quadratische

Zunahme bei Verringerung des Abstandes zwischen Anker und der zugehörigen Polfläche. Damit der Anker während seiner Bewegung zuverlässig angezogen werden kann, muß der Fangstrom so hoch gewählt werden, daß der Verlauf der Magnetkraft  $F_M$  zumindest ab dem Punkt der Ankerbewegung zwischen  $X_0$  und  $X_1$  über der zugehörigen Rückstellkraft  $F_F$  liegt, an dem die kinetische Energie der Bewegung in der Feder als potentielle Energie gespeichert wurde. Hierdurch ergibt sich eine entsprechende Überhöhung der Magnetkraft  $F_M$  gerade kurz vor dem Auftreffen auf der Polfläche, d. h. in  $X_1$ .

Mit einer entsprechend anwachsenden Beschleunigung wächst auch die Bewegungsgeschwindigkeit an.

Zur Vermeidung der Kraftüberhöhung wird nun bei Annäherung des Ankers an die Polfläche die Stromzufuhr zum fangenden Öffnermagneten vermindert. Dies kann beispielsweise beginnen, wenn die beiden Kennlinien  $F_F$  und  $F_M$  ihre größte Annäherung zeigen, beispielsweise wenn der Anker 3 die Stelle  $X_2$  erreicht hat. Durch die nachstehend noch näher beschriebene Reduzierung der Stromzufuhr zum Elektromagneten des fangenden Öffnermagneten 5 wird die Magnetkraft fortlaufend reduziert, so daß sich unter Berücksichtigung des sich verringernden Abstandes des Ankers 3 von der Polfläche 8 beispielsweise ein angenähert parallel zur Kennlinie  $F_F$  verlaufender Anstieg der Magnetkraft  $F_{M1}$  ergibt.

In Fig. 3 ist nun für den vorstehend erläuterten Bewegungsvorgang der Spulenstrom und der Ankerweg in Abhängigkeit von der Zeit für zwei unterschiedliche Stromhöhen dargestellt. Die Kurve a) zeigt einen Stromverlauf, wie er sich bei einem ordnungsgemäßen Betrieb einer elektromagnetischen Stelleinrichtung an dem fangenden Magneten ergibt. Der Strom wird hierbei nach dem Einschalten bis auf einen Wert  $I_{max}$  hochgeregt und dann über einen vorgebbaren Zeitraum konstant gehalten, so daß ein Fangen des Ankers sichergestellt ist. Wie die darunterliegende Weg-Zeit-Kurve für die Ankerbewegung erkennen läßt, erreicht der Anker zum Zeitpunkt  $t_A$  die Magnetpolfläche und kommt an dieser bleibend zur Anlage. Dies ist wiederum durch den Kurvenverlauf a) dargestellt.

Wird nun in die Magnetspule des fangenden Magneten, für das vorstehend angegebene Bewegungsbeispiel den Öffnermagneten 5, zuviel Energie eingekoppelt, d. h. der Spulenstrom zu hoch angesetzt, wie dies in der Kurve b) im Spulenstromdiagramm in Fig. 1 dargestellt ist, dann wird dem Anker zuviel Bewegungsenergie zugeführt, so daß der Anker aufgrund der hohen Flugeschwindigkeit nach dem Auftreffen auf die Magnetpolfläche abprallt und je nach Größe der Auftreffgeschwindigkeit erst verspätet oder gar nicht eingefangen wird. Im darunterliegenden Weg-Zeit-Diagramm für die Ankerbewegung ist dies durch die Kurve b) dargestellt, wobei hier der nachfolgende Bewegungsablauf des Ankers (Prellen mit anschließendem Fangen oder vollständigem Abprallen) nicht mehr dargestellt ist.

In Fig. 4 ist nun im oberen Diagramm ein Stromverlauf entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren und darunter der Ankerweg dargestellt. Auch hier wird zunächst die Stromzufuhr auf einen vorgebbaren Fangstrom  $I_{max}$  hochgeregt, der während einer vorgebbaren Zeit  $t_A$  konstant gehalten wird. Zu einem vorgebbaren Zeitpunkt  $t_A$ , der beispielsweise kurz nach dem Durchgang des sich vom Schließmagneten 4 auf den Öffnermagneten 5 bewegendes Ankers durch die Nulllage oder einem entsprechend späteren Zeitpunkt vor-

gegeben sein kann, wird nun durch eine Reduzierung des Fangstroms die erzeugte Magnetkraft am fangenden Elektromagneten fortlaufend reduziert und zwar so, daß der Verlauf der auf den sich nähernden Anker 3 wirkenden Magnetkraft in etwa der Zunahme der Kraft der entgegenwirkenden Rückstellfeder 7 entspricht, wobei jedoch die Führung der Stromzufuhr so erfolgen muß, daß die Magnetkraft immer über der Federkraft liegt, wie die in Fig. 2 für den Kurventeil  $F_{M1}$  dargestellt ist.

Zum Zeitpunkt  $t_B$  liegt dann der Anker 3 an der Polfläche 8 des fangenden Öffnermagneten 5 an und wird hier durch einen Haltestrom  $I_H$  gehalten, der aus Gründen der Energieersparnis zwischen einem unteren Wert  $I_{H2}$  und einem oberen Schwellenwert  $I_{H1}$  getaktet wird.

Je nach dem Verlauf der Stromabnahme kann die Höhe des Fangstroms in der geregelten Phase zum Auftreffzeitpunkt  $t_B$  noch über dem Wert des Haltestroms  $I_H$  liegen, so daß zu diesem Zeitpunkt die Stromzufuhr zunächst vollständig abgeschaltet und erst bei Erreichen des Wertes für den Haltestrom  $I_H$  bzw. bei einem getakteten Haltestrom des Wertes für den unteren Schwellenwert  $I_{H2}$  wieder angeschaltet werden.

Da es in der Praxis sehr schwierig ist, Rückstellfedern herzustellen, die mit ihrer Federkennlinie den gewünschten Einsatzbedingungen Rechnung tragen, erlaubt es das erfindungsgemäße Verfahren, den Verlauf der Magnetkraft über dem Ankerweg an eine gegebene Federkennlinie und auch den gewünschten Bewegungsablauf und die Bewegungsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Neben einer Anpassung an eine lineare Federkennlinie ist über die Beeinflussung der Bestromung des jeweils fangenden Magneten auch ein Verlauf der Magnetkraft mit einer gewillkürten Verlaufskurve, beispielsweise progressiv-degressiv möglich. In diesem Fall würde nach einer anfänglichen Beschleunigung des Ankers infolge einer Abnahme der Magnetkraft bei der Annäherung des Ankers die bremsende Wirkung der zunehmenden Kraft der Rückstellfeder spürbar.

Die Federkennlinie der jeweiligen Rückstellfeder ändert sich auch bei längerer Betriebsdauer praktisch nicht, da beispielsweise Schraubendruckfedern in dieser Hinsicht keinem "Verschleiß" unterliegen. Bei dem beschriebenen Beispiel eines elektromagnetischen Aktuators für ein Gaswechselventil ist jedoch der Bewegungsablauf des Ankers zeitlich nicht konstant, sondern wird durch die unterschiedlichsten Einflüsse verändert: beispielsweise die Zustände des Arbeitsmediums im Einlaßbereich, im Arbeitsraum und im Auslaßbereich sowie die Vorgänge im Arbeitsraum selbst, wie beispielsweise der Gegendruck im Arbeitsraum in bezug auf Einlaß/Auslaßventil. Da derartige Kolbenbrennkraftmaschinen bei sehr unterschiedlichen Betriebszuständen instationär arbeiten, kann nun durch eine Beeinflussung des Verlaufs der Steigung der Stromabnahme in der geregelten Phase zwischen  $t_A$  und  $t_B$  hierauf Rücksicht genommen werden.

In einer entsprechenden Steuereinrichtung wird nun ein Soll-Verlauf für die Führung des Fangstroms in Form einer den unterschiedlichsten Betriebszuständen zugeordneten Kurvenschar abgelegt und dann entsprechend der Ist-Verlauf der dem jeweiligen durch die Steuereinrichtung vorgegebenen Soll-Verlauf verglichen und bei entsprechenden Abweichungen für nachfolgende Schaltzyklen der Ist-Verlauf angepaßt. Dieser Soll-Ist-Vergleich kann fortlaufend bei jedem Schaltzyklus oder auch periodisch nach einer ausgewählten Zahl von Schaltzyklen durchgeführt werden, wobei auch die

Zahl der Schaltzyklen über die Motorsteuereinrichtung entsprechend den Betriebsbedingungen veränderbar vorgegeben werden kann.

In Fig. 5 ist ein Blockschaltbild einer Steuerung für einen elektromagnetischen Aktuator 1 entsprechend Fig. 1 dargestellt, der zur Betätigung eines Gaswechselventils 2 an einem Zylinder 10 einer Hubkolben-Brennkraftmaschine dient. Die Elektromagneten 4 und 5 des Aktuators 1 werden hierbei über eine Steuerungs- und Stromversorgungseinrichtung 11 der Hubkolben-Brennkraftmaschine angesteuert und entsprechend den vorgegebenen Arbeitszyklen mit Strom versorgt.

Zur Ansteuerung der einzelnen elektromagnetischen Aktuatoren der Gaswechselventile wird der elektronischen Steuereinrichtung 11 über das Gaspedal 12 der Lastwunsch des Fahrers, sowie über entsprechende Geber weitere Betriebsparameter vorgegeben, wie beispielsweise die Motordrehzahl  $n$ , die Motortemperatur  $\tau$  und je nach "Komfort" der Steuereinrichtung weitere betriebsrelevante Parameter, wie beispielsweise der Saugrohrdruck etc.

Während es grundsätzlich möglich ist, die Veränderung der Stromzufuhr zum jeweils fangenden Elektromagneten zur Anpassung an den Verlauf der Federkennlinie der Rückstellfedern konstant vorzugeben, erlaubt es, eine derartige elektronische entsprechend ausgebildete Steuereinrichtung den jeweiligen Stromverlauf bei der Bestromung des jeweils fangenden Haltemagneten mit einem vorgegebenen Soll-Wert für den Stromverlauf zu vergleichen und bei feststellbaren Abweichungen hier korrigierend einzugreifen. Wie vorstehend erwähnt, kann sich nach längerer Betriebszeit durch Verschleiß oder infolge von Temperaturänderungen, Veränderung der Schmiermittelviskositäten etc. das Kräfteverhältnis zwischen Rückstellfeder einerseits und Magnetkraft andererseits zugunsten der Magnetkraft ändern, so daß entgegen der Grundeinstellung der Anker mit höherer Auftreffgeschwindigkeit als gewollt auf die Polfläche des jeweils fangenden Elektromagneten auftritt. Da es sich hierbei um ein elektrodynamisches System handelt und eine Änderung der Bewegungsgeschwindigkeit des Ankers sich im Stromverlauf bemerkbar macht, kann nun durch eine Erfassung des Ist-Wertes des Stromverlaufs und einen Vergleich mit einem vorgegebenen Soll-Wert (hier durch einen gesondert herausgezeichneten Soll-Ist-Vergleich 13 der elektronischen Steuereinrichtung 11 dargestellt) bei Feststellung einer Abweichung die Stromzufuhr sowohl in der Höhe des vorzugebenden Fangstroms  $I_{max}$  als auch bezüglich der Veränderung während der Fangphase zwischen  $t_A$  und  $t_B$ .

Anstelle eines im Soll-Ist-Vergleich 13 fest vorgegebenen Soll-Wertes kann hier auch eine Schar von Soll-Wert-Kurven vorgegeben werden, die in Abhängigkeit vom jeweiligen Betriebspunkt für den Soll-Ist-Vergleich im Rahmen der Steuereinrichtung 11 herangezogen werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Betätigung eines elektromagnetischen Aktuators mit Stellglied, der wenigstens einen Elektromagneten und einen mit dem Stellglied verbundenen Anker aufweist, der bei Stromzufuhr zum Elektromagneten gegen die Kraft einer Rückstellfeder in Richtung auf die Polfläche des Elektromagneten bewegbar und an dieser zur Anlage bringbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die

Stromzufuhr zum Elektromagneten so gesteuert wird, daß der zeitliche Verlauf der erzeugten Magnetkraft zumindest in der Endphase der Annäherung des Ankers an die Polfläche in etwa dem Verlauf der Federkennlinie entspricht, wobei die Magnetkraft jedoch größer ist als die Kraft der Rückstellfeder, zumindest in diesem Bewegungsbereich.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Einschalten die Stromzufuhr auf einem vorgebbaren Wert  $I_{\max}$  während einer vorgebbaren Zeit  $T_A \leq 0$  konstant gehalten und danach zumindest ab einem Zeitpunkt  $t_A$  proportional zum Verlauf der Federkennlinie vermindert und ab dem zu erwartenden Zeitpunkt  $t_B$  des Auftreffens des Ankers auf der Polfläche auf die Höhe des Haltestroms  $I_H$  reduziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest periodisch der zeitliche Verlauf der Stromzufuhr in einem Schaltzyklus als Ist-Wert erfaßt und mit einem vorgegebenen Verlauf aus Soll-Wert verglichen und für die nachfolgenden Schaltzyklen bei Abweichungen entsprechend geändert wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

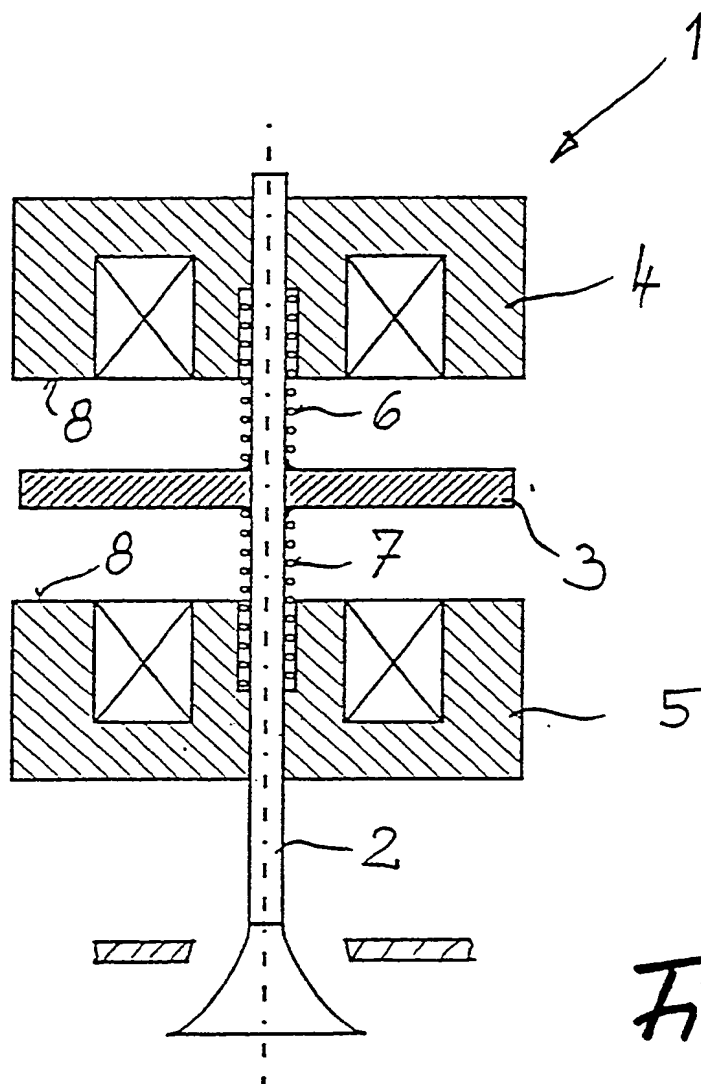


Fig. 1



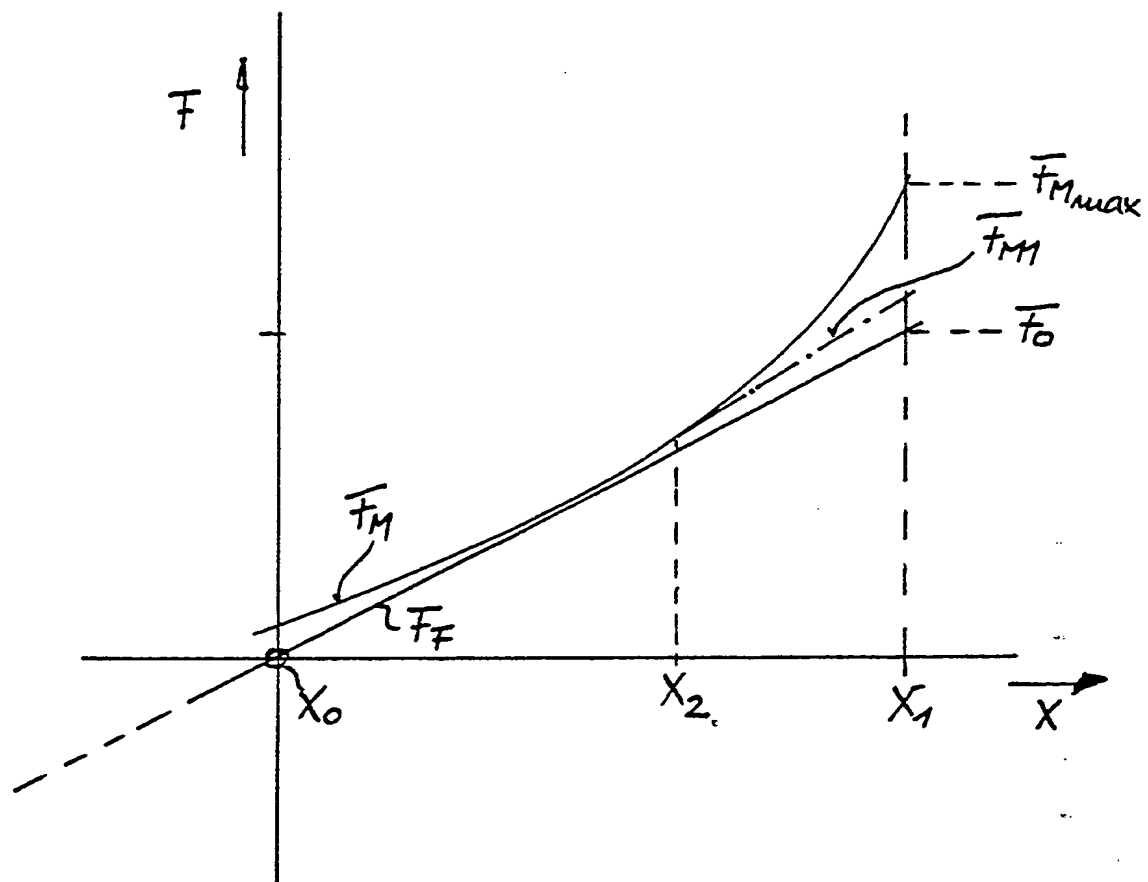


Fig.2

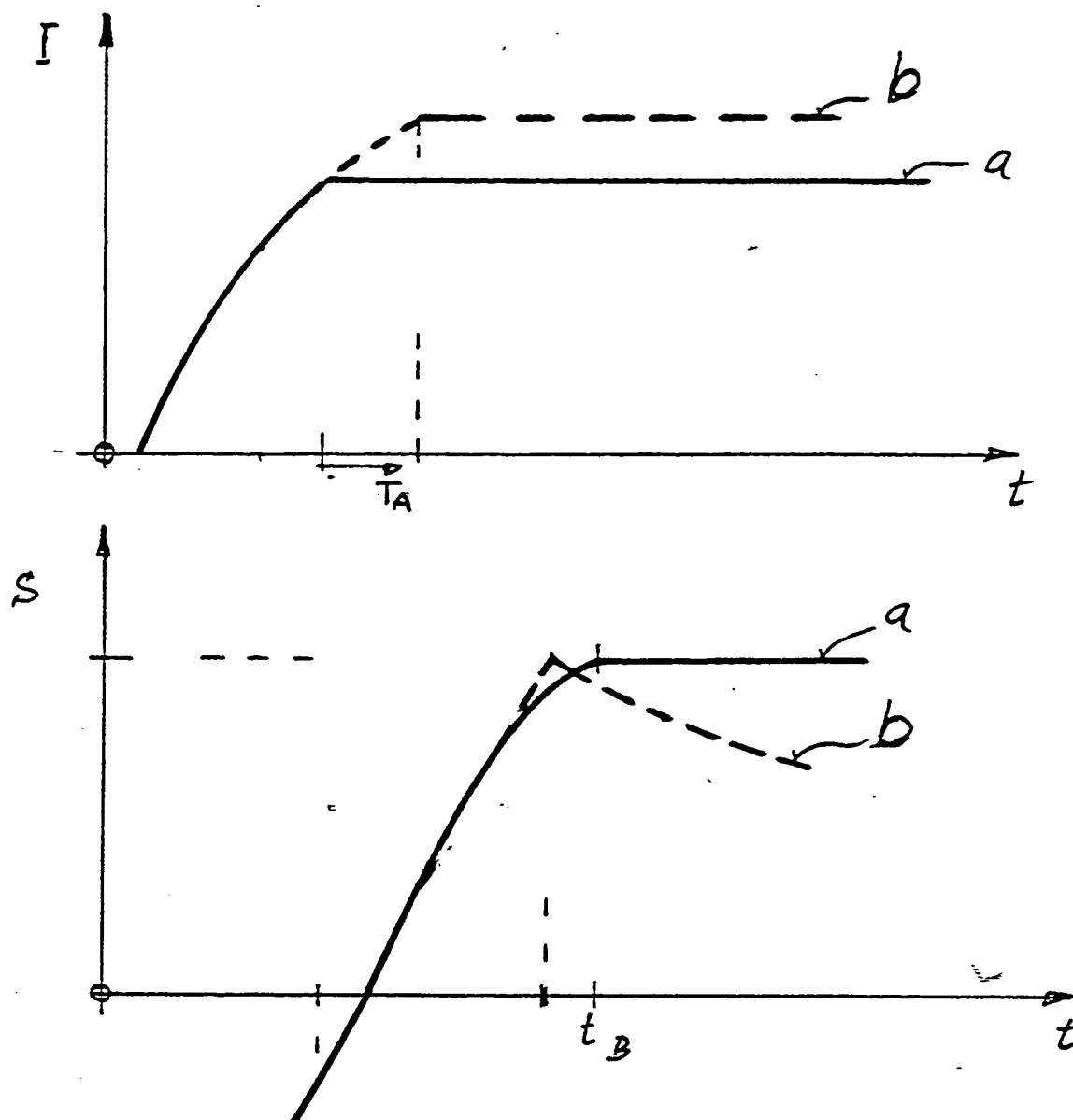


Fig.3



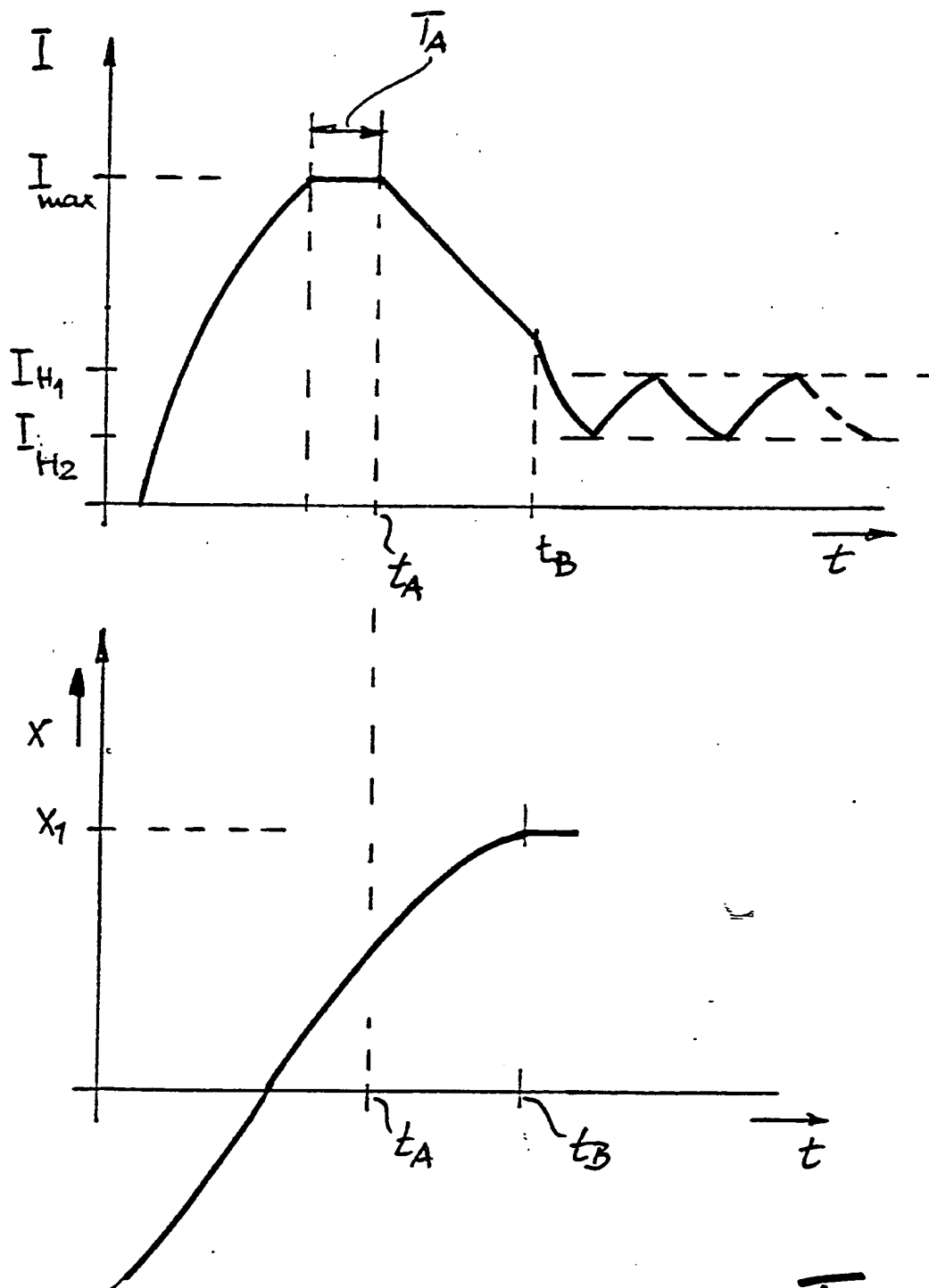


Fig. 4

